



E.T.S.I.C.C.P



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# PROYECTO BÁSICO DE PUENTE SOBRE EL RÍO VINALOPÓ EN LA CIRCUNVALACIÓN SUR DE ELCHE (EL-20) T.M. DE ELCHE (ALICANTE)

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL. CURSO 2015-2016

VALENCIA, SEPTIEMBRE 2016

TRABAJO FINAL DE GRADO

AUTORES: FERNÁNDEZ MOROCHO, RUBÉN  
GARCÍA LATORRE, JAVIER  
MARTÍNEZ PÉREZ, LAURA

TUTOR: MIGUEL SOSA, PEDRO  
COTUTOR: GARCÍA BARTUAL, RAFAEL LUIS

## ÍNDICE GENERAL

### **1. DOCUMENTO Nº1: MEMORIA Y ANEJOS**

- 1.1. ANEJO Nº1: ESTUDIO DE SOLUCIONES
- 1.2. ANEJO Nº2: ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO
- 1.3. ANEJO Nº3: INFORME GEOTÉCNICO
- 1.4. ANEJO Nº4: CÁLCULO DE ESTRUCTURAS Y SUBESTRUCTURAS
- 1.5. ANEJO Nº5: DISEÑO DE EQUIPAMIENTOS
- 1.6. ANEJO Nº6: PROCESO CONSTRUCTIVO
- 1.7. ANEJO Nº7: PLAN DE TRABAJOS
- 1.8. ANEJO Nº8: FOTOGRAFÍA E INFOGRAFÍA

### **2. DOCUMENTO Nº2: PLANOS**

### **3. DOCUMENTO Nº3: VALORACIÓN ECONÓMICA**

# DOCUMENTO N°1: MEMORIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior de Ingenieros de  
Caminos, Canales y Puertos

Autor: Rubén Fernández Morocho  
Javier García Latorre  
Laura Martínez Pérez



## ÍNDICE

<b>1.</b>	<b>OBJETO DEL DOCUMENTO, ALCANCE Y ORGANIZACIÓN DEL TFG</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETO DEL PROYECTO BÁSICO</b>	<b>2</b>
2.1.	<i>Situación</i>	2
2.2.	<i>Emplazamiento</i>	2
<b>3.</b>	<b>ANTECEDENTES, LIMITACIONES Y CONDICIONANTES</b>	<b>3</b>
3.1.	<i>Antecedentes</i>	3
3.2.	<i>Limitaciones y condicionantes</i>	3
3.2.1.	<i>Condiciones naturales</i>	3
3.2.2.	<i>Condicionantes geométricos</i>	4
3.2.3.	<i>Otros condicionantes</i>	4
<b>4.</b>	<b>NORMATIVA APLICADA</b>	<b>4</b>
<b>5.</b>	<b>ESTUDIO DE SOLUCIONES</b>	<b>5</b>
5.1.	<i>Descripción de las alternativas</i>	5
5.2.	<i>Estudio comparativo</i>	7
<b>6.</b>	<b>HIDROLOGÍA</b>	<b>7</b>
<b>7.</b>	<b>GEOTECNIA Y GEOLOGÍA</b>	<b>9</b>
<b>8.</b>	<b>DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA</b>	<b>10</b>
8.1.	<i>Trazado</i>	10
8.2.	<i>Tablero</i>	10
8.3.	<i>Subestructuras</i>	11
8.4.	<i>Protección del puente</i>	12
8.5.	<i>Equipamientos</i>	12
<b>9.</b>	<b>PROCESO CONSTRUCTIVO</b>	<b>16</b>
<b>10.</b>	<b>PLAZO DE EJECUCIÓN</b>	<b>16</b>

<b>11. VALORACIÓN ECONÓMICA</b>	<b>17</b>
<b>12. CONCLUSIÓN</b>	<b>17</b>

## 1. OBJETO DEL DOCUMENTO, ALCANCE Y ORGANIZACIÓN DEL TFG

El conjunto de documentos que aquí se exponen tienen correspondencia con el Trabajo Fin de Grado de los alumnos Rubén Fernández Morocho, Javier García Latorre y Laura Martínez Pérez con el cual pretenden obtener el título de Graduados en Ingeniería Civil por la Universidad Politécnica de Valencia.

Este Trabajo Fin de Grado, a partir de ahora TFG, consiste en el desarrollo, dentro del marco técnico-administrativo de los concursos de ideas, de una propuesta para el Puente sobre el río Vinalopó en la Circunvalación Sur de Elche que satisfaga los requisitos exigidos por la Administración y el propio emplazamiento de la estructura. Por consiguiente, este trabajo académico tiene carácter de Proyecto Básico.

Los profesores que han ayudado y guiado a los alumnos en la consecución del presente proyecto han sido: Don Pedro Miguel Sosa, Catedrático de la UPV, que ha actuado como tutor de los tres componentes del grupo; y Don Rafael Luis García Bartual, Catedrático de la UPV, como cotutor de la alumna Laura Martínez Pérez en la parte correspondiente al estudio de la hidrología y la hidráulica de la zona.

Se debe tener en cuenta, en todo momento, el alcance del presente Proyecto Básico. Debido a que se trata de un trabajo académico, el grado de detalle será el suficiente para la definición de una solución viable en términos constructivos y de cálculo, aplicando los conocimientos obtenidos a lo largo del grado, suponiendo el presente trabajo la reafirmación de los conceptos aprendidos. Por lo tanto, se deja de lado aquellas comprobaciones y materias no incluidas en el saber adquirido hasta el momento de la redacción del proyecto. No obstante, la aplicación de los conocimientos al desarrollo del actual Proyecto Básico resulta en el conjunto de documentos que se exponen a continuación.

En cuanto a la organización del ejercicio, se ha realizado de forma conjunta entre los tres miembros del grupo, colaborando todos ellos en cada una de las partes que lo forman. No obstante, cada integrante se ha encargado de una parte específica del proyecto, la cual corresponde al Título Individual que la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Caminos y Puertos de Valencia le adjudicó, de forma que se convierte en el responsable de organizar y supervisar toda la documentación relacionada con ésta.

Por tanto, el trabajo ha quedado organizado y dividido de la siguiente forma:

### Documento Nº1: Memoria y anejos

- Memoria
  - ❖ Rubén Fernández Morocho
  - ❖ Javier García Latorre

- ❖ Laura Martínez Pérez
- Anejo nº1: Estudio de Soluciones
  - ❖ Laura Martínez Pérez
- Anejo nº2: Estudio Hidrológico e Hidráulico
  - ❖ Laura Martínez Pérez
- Anejo nº3: Informe Geotécnico
  - ❖ Rubén Fernández Morocho
- Anejo nº4: Cálculo de Estructuras y Subestructuras
  - ❖ Rubén Fernández Morocho
  - ❖ Javier García Latorre
- Anejo nº5: Diseño de Equipamientos
  - ❖ Laura Martínez Pérez
- Anejo nº6: Proceso Constructivo
  - ❖ Javier García Latorre
- Anejo nº7: Programa de Trabajo
  - ❖ Javier García Latorre
- Anejo nº8: Fotografía e Infografía
  - ❖ Javier García Latorre

### Documento Nº2: Planos

- ❖ Rubén Fernández Morocho
- ❖ Javier García Latorre
- ❖ Laura Martínez Pérez

### Documento Nº3: Valoración económica

- ❖ Rubén Fernández Morocho
- ❖ Javier García Latorre
- ❖ Laura Martínez Pérez

Debido a la naturaleza del TFG, quedan excluidos los siguientes documentos:

- Anejo de Justificación de Precios
- Pliego de Condiciones Técnicas Particulares
- Cuadro de Precios nº1 y nº2

## 2. OBJETO DEL PROYECTO BÁSICO

En el año 1.995 se llevó a cabo la redacción del Proyecto de Construcción “Circunvalación Sur de Elche, P.K. 722+000 de la N-340. Tramo: Intersección N-340 – Intersección CV-851. Provincia de Alicante”. Con este proyecto se pretendía mejorar las comunicaciones de acceso a la zona sur del municipio, pues las conexiones existentes carecían de las condiciones necesarias para desempeñar la función para las que fueron concebidas. En el transcurso de esta nueva ronda, fueron necesarias una serie de estructuras que se encargaran de salvar los accidentes geográficos de la zona, siendo uno de ellos el cauce del río Vinalopó.

En el presente Proyecto Básico se estudian todos los aspectos relevantes que influyen en el desarrollo de la propuesta del puente que cruza el cauce del río Vinalopó, como son la hidrología y la hidráulica, la geología y la geotecnia, y aquellas condiciones marcadas por la Administración y por el propio emplazamiento de la estructura. Con esto se permite el cálculo y dimensionamiento de este puente, dentro de los límites de un proyecto básico y de los conocimientos y aptitudes concebidos en las distintas asignaturas de la carrera.

### 2.1. Situación

El puente sobre el río Vinalopó de la Circunvalación Sur de Elche se encuentra en el término municipal de Elche, situado en la provincia de Alicante, en la Comunidad Valenciana. Es la capital de la comarca del Bajo Vinalopó y la tercera ciudad más poblada de la Comunidad Valenciana. Consta de una extensión de 326,07 km<sup>2</sup> y se encuentra a una altitud media de 86 metros sobre el nivel del mar. La ciudad es atravesada de norte a sur por el río Vinalopó, de escaso caudal y con un régimen muy irregular.



Figura 1. Situación del municipio de Elche

### 2.2. Emplazamiento

La obra se emplaza al sur del municipio, justo en el límite del casco urbano, atravesando el cauce del río Vinalopó de este a oeste. Se sitúa en el último intervalo de la circunvalación, entre la Rotonda de Dolores y la Rotonda de Casas de León, lo que corresponde al tramo comprendido entre los P.K 6+400 y P.K. 6+600.

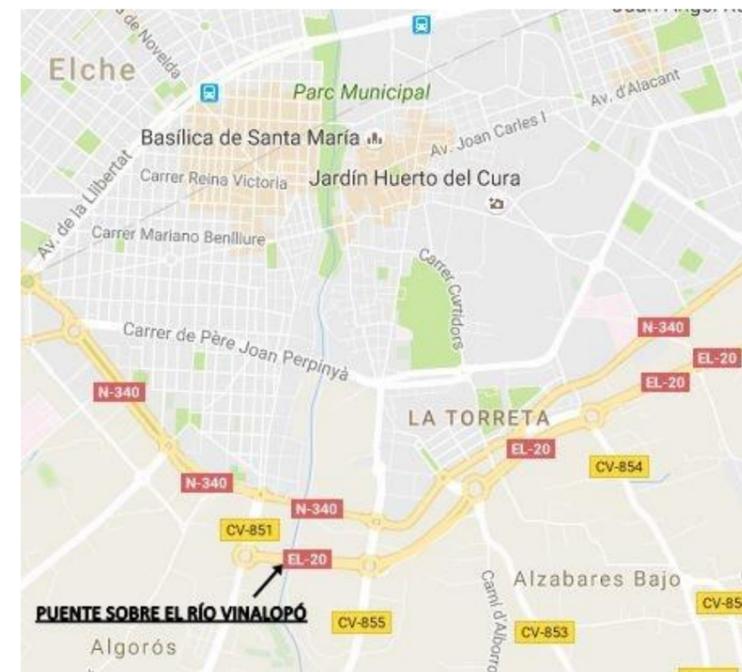


Figura 2. Situación del puente en la Red de Carreteras de Estado



Figura 3. Emplazamiento de la obra

### 3. ANTECEDENTES, LIMITACIONES Y CONDICIONANTES

#### 3.1. Antecedentes

El cierre de la Circunvalación de Elche por el sur, entre la N-340 al este de la ciudad y la Ronda Carrús al oeste, se está realizando mediante dos actuaciones del Ministerio de Fomento. La primera de ellas es la que discurre entre la N-340 y la CV-851, donde se encuentra el puente objeto de este TFG, y que posee una longitud aproximada de 6 km, y una fase posterior, entre la CV-851 y la Ronda de Carrús.

La red viaria del entorno de Elche está constituida por:

- La carretera nacional N-340, que atraviesa el casco urbano y comunica la ciudad con las poblaciones de Torrellano y Alicante al este y Crevillent al oeste.
- La autovía A-7, que discurre también en sentido este-oeste y se encuentra al norte de la población de Elche, aunque relativamente próxima a la ciudad.
- La carretera CV-86 (Vía Parque Alicante-Elche), situada paralelamente entre la A-7 y el casco urbano de Elche, que hace las funciones de ronda norte de la ciudad.
- La circunvalación Este de Elche (EL-20), cuyo tramo comprendido entre la A-7 y la N-340 está construido actualmente, y cuyo tramo entre la N-340 y la CV-851 está en construcción.
- La ronda de Carrús, que hace las funciones de ronda oeste de la ciudad.
- La actual Ronda Sur de Elche, construida hace muchos años, que carece de las condiciones necesarias para desempeñar la función para la que fue concebida.
- Un importante y denso sistema radial de carreteras que parten de la ciudad hacia la costa y que abarcan todo el sector circular definido por la carretera N-340. Entre esta red pueden incluirse carreteras tan concurridas como la CV-865 de acceso a Santa Pola, y la carretera CV-855 de acceso a Dolores.

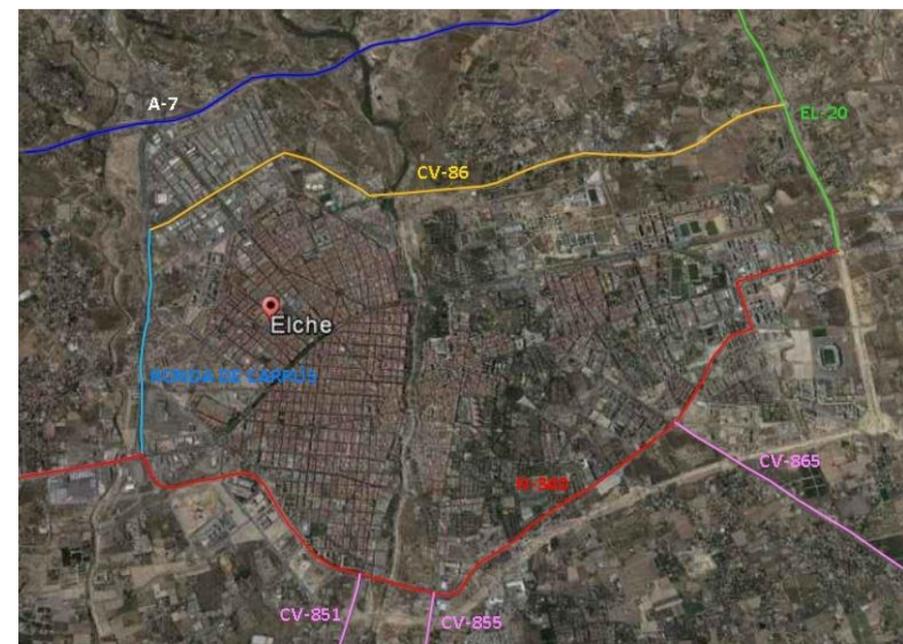


Figura 4. Red viaria del municipio de Elche antes de la ejecución de la Circunvalación Sur

Esta nueva vía beneficiará tanto al tráfico que se dirija a distintos puntos del municipio de Elche, debido a la capacidad de distribución de la nueva infraestructura a través de varios nudos, como a los vehículos con destino a otros municipios, que no se verán obligados a entrar en el casco urbano de Elche. De este modo, se mejora la comunicación desde las autovías A-7 y A-70 con el entorno metropolitano de Elche y otras vías importantes de acceso a poblaciones costeras próximas como Santa Pola y La Marina.

#### 3.2. Limitaciones y condicionantes

A continuación se comentan los aspectos técnico-administrativos que ha de cumplir el puente sobre el río Vinalopó en la Circunvalación Sur de Elche, recogidos en el concurso propuesto por la administración competente. Estos requisitos son los que se tomarán como base a la hora de proponer soluciones que se han de adaptar al entorno.

##### 3.2.1. Condiciones naturales

###### **Topografía**

El área de intervención se encuentra enmarcada dentro de los límites de la ciudad de Elche, al sur del término municipal, atravesando el cauce del río Vinalopó. Se localiza entre la Rotonda de Dolores y la Rotonda de Casas de León.

### **Geotecnia y geología**

Con los estudios geotécnicos realizados se ha concluido que los materiales en los alrededores de la zona de actuación están formados por alternancias de arenas limosas con intercalaciones de gravas, que pertenecen a los depósitos cuaternarios de abanicos aluviales del campo de Elche y del río Vinalopó. En cuanto a su consistencia, debido a su cementación carbonatada, es de firme a muy firme; aunque en las zonas donde la carbonatación es más débil, pueden ocurrir fenómenos de colapso en caso de inundación.

En cuanto a la geología del entorno, los terrenos atravesados están formados por materiales cuaternarios, configurados por la deposición de materiales detríticos.

### **Hidráulica**

La Confederación Hidrográfica del Júcar no especifica ninguna limitación con respecto a la ocupación del cauce del río Vinalopó, ni de forma temporal ni permanente.

Por otro lado, el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana (PATRICOVA) impone que cualquier elemento que discurra, se sitúe o cruce una zona inundable, no debe modificar los riesgos de inundación de la zona.

### **Sismicidad**

La ciudad de Elche se conoce por su gran actividad sísmica. La aceleración básica que considera la Norma Sismorresistente (NCSE-02) es de 0,15 g. La citada norma establece la necesidad de tener en cuenta el efecto del sismo en el cálculo de todo tipo de estructuras situadas en zonas con una aceleración básica de cálculo igual o superior a 0,04 veces la aceleración de la gravedad, lo que corresponde con el caso que nos atañe.

## 3.2.2. Condicionantes geométricos

### **Alzado**

Se respetará una pendiente longitudinal del 0,25% de este a oeste. La luz a salvar entre ambos márgenes del río será de 120 metros.

### **Planta**

El trazado de la planta del puente ha de ser recto, siguiendo la alineación de la circunvalación, atravesando de forma ortogonal el cauce del río.

### **Sección transversal**

Las características de la calzada correspondiente al puente han de ser las mismas que las establecidas para la circunvalación. Eso significa que la carretera estará formada por dos calzadas, cada una con dos carriles de 3,5 metros, un carril interior de 1 metro y otro exterior de 2,5 metros, lo que proporciona la posibilidad futura de aumentar la capacidad de la vía con un tercer carril en ambas direcciones. Estas calzadas estarán separadas por una mediana de 2 metros de ancho, y en ambos extremos, se permitirá la continuación del carril bici de la ronda, con una anchura de 2 metros, que también se empleará para el uso peatonal. A estas dimensiones prefijadas se le añadirá el espacio correspondiente para la colocación de defensas para peatones y vehículos.

La pendiente transversal del tablero será del 2% como mínimo desde el eje del mismo hasta sus bordes, permitiendo el correcto drenaje de la calzada.

## 3.2.3. Otros condicionantes

Se tendrá en cuenta la presencia de un camino de servicio que discurre por la margen izquierda del río Vinalopó y que en caso de que durante la construcción de la infraestructura se vea afectado, se deberá llevar a cabo una reposición de los servicios que en él se encuentran.

Por otro lado, también en la margen izquierda del río Vinalopó, se localiza un conjunto de edificaciones ilegales. Este detalle se tendrá en cuenta durante la construcción de la obra y los trámites anteriores a la misma.

La Circunvalación Sur de Elche en el tramo en el que se sitúa el puente tiene función de vía colectora y distribuidora, que se encarga de conectar las carreteras radiales que acceden al municipio, por lo que la velocidad de proyecto de la misma es de 60 km/h.

Por último, los materiales elegidos para la ejecución del puente deberán requerir poco mantenimiento y respetar los criterios ambientales, así como disponer de una vida útil elevada.

## 4. NORMATIVA APLICADA

La normativa que se ha empleado para llevar a cabo el siguiente proyecto ha sido:

- IAP-11. Instrucción sobre las acciones a considerar en el proyecto de puentes de carretera.
- EAE-2011. Instrucción Española de Acero Estructural.
- Eurocódigo 2: Proyecto de estructuras de hormigón (UNE-EN 1992-1-1)
- EHE-08. Instrucción Española de hormigón estructural.
- Norma 5.2-IC. Drenaje superficial.

- Norma 6.1-IC. Secciones de firmes.
- Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-02).
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3).
- Máximas lluvias diarias en la España Peninsular.
- Orden Circular 35/2014 sobre Criterios de aplicación de sistema de contención de vehículos.
- Norma Europea 13201 (para la iluminación del puente).
- Guía de cimentaciones en obras de carretera.

## 5. ESTUDIO DE SOLUCIONES

Todo proyecto ingenieril comienza con la definición de un número aceptable de soluciones que pretenden satisfacer las necesidades por las que van a ser construidas. En el Anejo nº1: Estudio de Soluciones, redactado por la alumna Laura Martínez Pérez, en colaboración con sus compañeros, se explican los requisitos que han de cumplir las propuestas desarrolladas y posteriormente, atendiendo a estas exigencias, se realiza una primera criba de tipologías estructurales existentes en la actualidad, comentando aquellas que según sus características no se ajustan óptimamente a los requerimientos preestablecidos. Con ello, se decide estudiar 5 propuestas, explicadas brevemente a continuación y de forma detallada en el citado anejo. Posteriormente se lleva a cabo un análisis multicriterio con la intención de seleccionar de forma objetiva la solución más adecuada para la problemática que en este proyecto se resuelve.

### 5.1. Descripción de las alternativas

#### **Alternativa nº1: Puente atirantado**

Consiste en una estructura de un único vano de 120 metros, cuyo sistema resistente se compone de dos torres de hormigón situadas en el extremo oeste del puente, y dos planos de 10 tirantes continuos en forma de arpa, que quedan anclados al tablero cada 10 metros y a sus respectivos macizos de anclaje. Estos macizos se encuentran semienterrados en el terreno adyacente al puente. El tablero de la estructura se materializa mediante una losa de hormigón in situ con aligeramientos circulares.

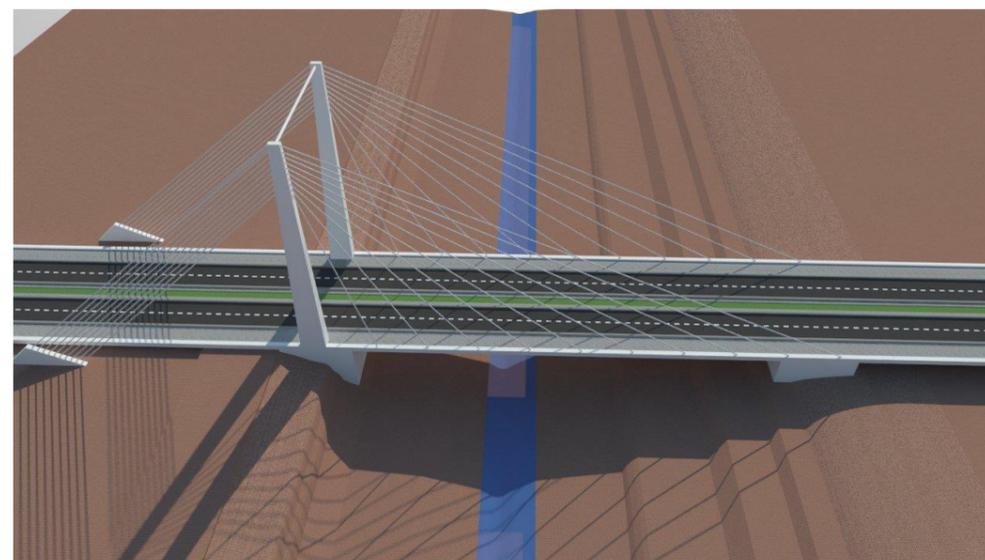


Figura 5. Croquis de la alternativa 1

#### **Alternativa nº2: Puente arco con tablero intermedio**

Esta solución consta de dos arcos de hormigón inclinados con tablero intermedio asimétrico, de forma que se forman dos vanos: uno de 15 metros y otro de 105 metros. En la parte del tablero donde los arcos se sitúan por encima del tablero se disponen 11 péndolas flexibles separadas 7,5 metros entre ellas, mientras que donde el tablero se encuentra por encima de los arcos, éste apoya sobre 3 pilas que respetan la misma separación anterior. El tablero de esta solución actúa como un gran tirante y se compone de dos vigas cajón de hormigón, vigas transversales metálicas en doble T separadas 2,5 metros entre ellas y una losa de hormigón de 0,20 metros.

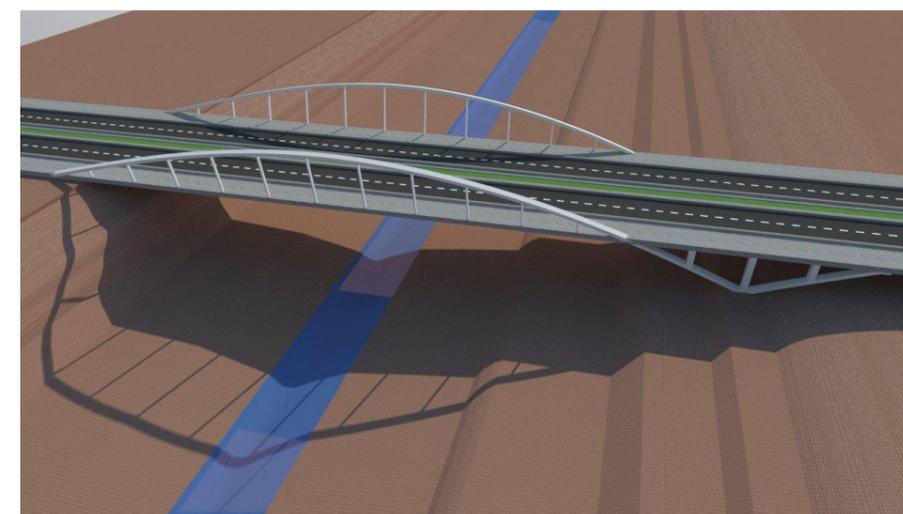


Figura 6. Croquis de la alternativa 2

**Alternativa nº3: Puente arco con tablero inferior**

Se propone un puente sustentado por dos arcos de hormigón con péndolas rígidas inclinadas, de hormigón también, que cubre la luz total de 120 metros. El arco estará formado por un total de 15 péndolas separadas entre sí 7,5 metros, empotradas en el plano longitudinal, lo que le proporciona un comportamiento similar a una viga Vierendel. Esta solución cuenta con un tablero mixto, con dos vigas cajones longitudinales de hormigón, a las que se le unen vigas transversales metálicas con sección en T y cuchillos metálicos, distantes entre sí 2,5 metros en ambos casos. Sobre el entramado descrito se sitúa una chapa grecada y una losa de hormigón de 0,20 metros, sobre la que se situará la superestructura del puente. Los arcos se ubican entre la calzada y el carril bici, en el mismo plano vertical que las vigas longitudinales.

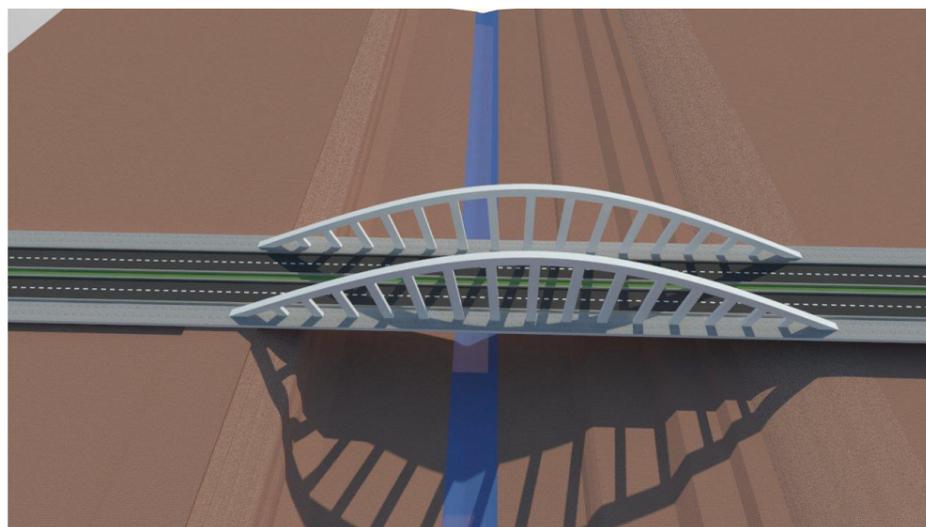


Figura 7. Croquis de la alternativa 3

**Alternativa nº4: Puente viga de canto variable**

La cuarta opción que se expone es la ejecución de un puente viga, con canto variable, y con tres vanos: uno principal de 60 metros y dos laterales de 30 metros cada uno. El tablero consiste en un cajón cuatricelular de hormigón pretensado, construido in situ, de canto máximo sobre las pilas y mínimo en el centro del vano principal. Las anchuras de las losas superior e inferior del cajón es de 29,4 metros y de 16,20 metros, respectivamente, mientras que la separación entre alas es de 4,60 metros. Con respecto a las pilas que conforman los apoyos intermedios, consisten en dos pantallas de hormigón armado de 2 metros de anchura, siendo de diferente altura cada una de ellas. La geometría de las mismas se diseña para que concuerde con la estética general del puente.

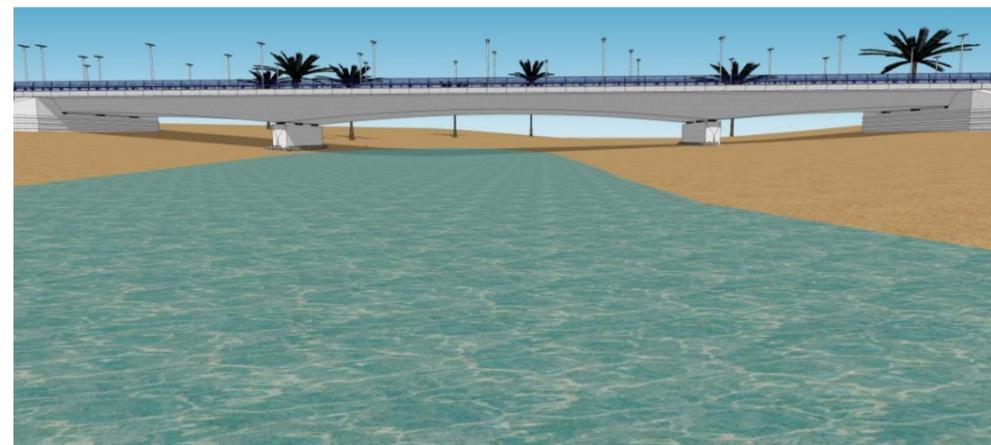


Figura 8. Croquis de la alternativa 4

**Alternativa nº5: Puente de vigas prefabricadas**

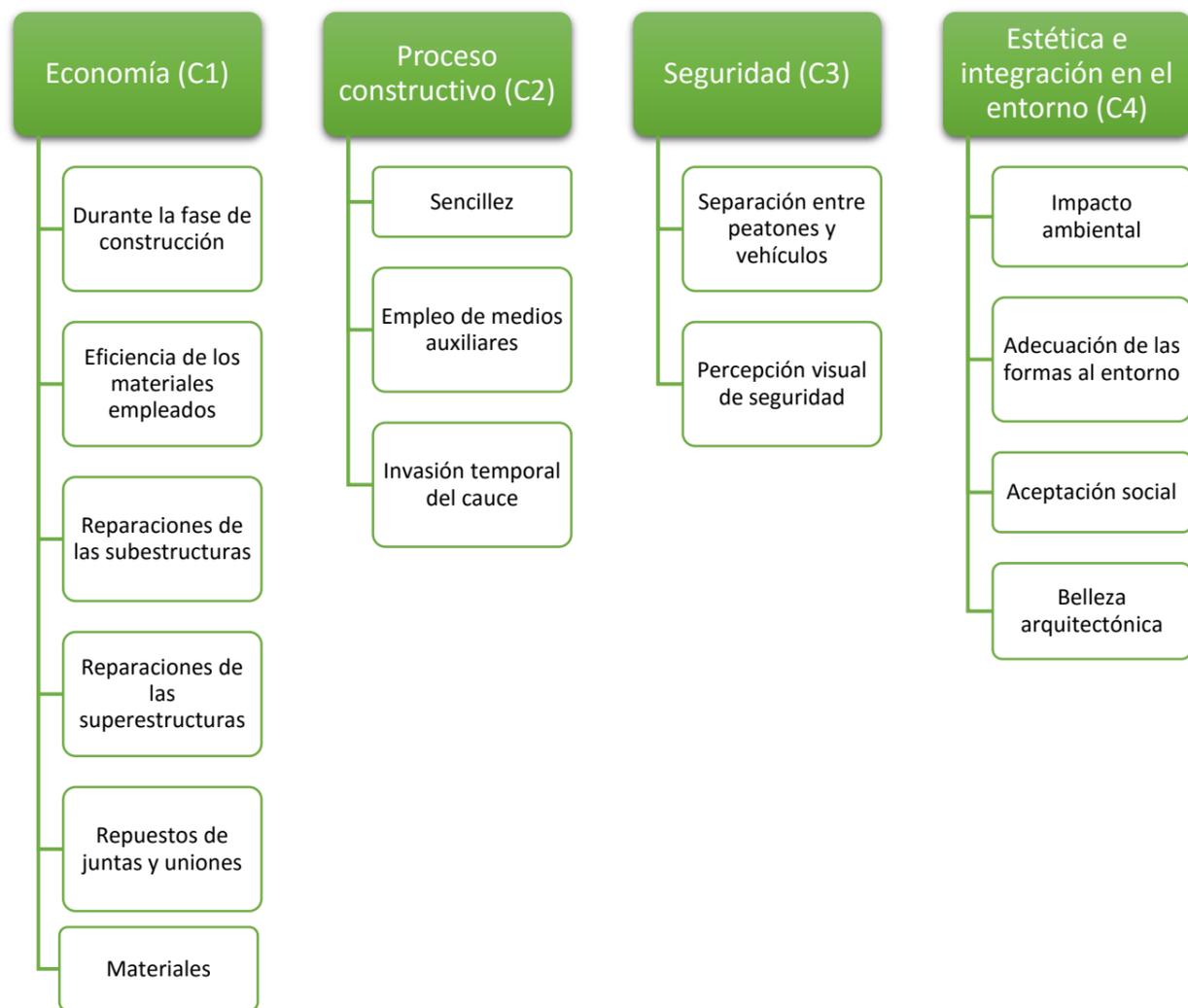
La última alternativa plantea la ejecución de un puente prefabricado que consta de 27 vigas doble T de 40 metros de longitud, por lo que el vano total queda dividido en tres vanos de 40 metros. Estas vigas son pretensadas y tienen un canto constante de 2,35 metros. Quedan separadas entre sí 3,2 metros. En el espacio entre vigas se sitúan unas prelosas que facilitarán la ejecución de la losa superior sobrepuesta in situ, de 0,22 metros de espesor. La losa será continua entre vanos, desconectada adecuadamente en torno a los apoyos, creando así tramos semi-continuos. El tablero se acomoda sobre unas pilas construidas in situ, con sección circular y un total de 3 en cada línea de apoyo. Entre el tablero y las pilas se ejecutará un capitel que recoja las cargas y las transfiera a las pilas.



Figura 9. Croquis de la alternativa 5

### 5.2. Estudio comparativo

Cada propuesta ha sido valorada de una forma justificada, según los siguientes criterios y subcriterios, que a juzgar por los integrantes del presente TFG son los más destacables en consonancia con las exigencias del proyecto para poder inclinarse por una solución u otra.



Tras ofrecer las puntuaciones a cada alternativa y proponer diferentes pesos para cada criterio y subcriterio analizado, se obtienen los siguientes resultados:

Alternativa nº 1	Alternativa nº 2	Alternativa nº 3	Alternativa nº 4	Alternativa nº 5
38,35	44,53	58,82	64,06	55,71

Tabla 1. Puntuaciones obtenidas para cada alternativa estudiada

La solución finalmente adoptada para el "Proyecto Básico de puente sobre el río Vinalopó de la Circunvalación Sur de Elche (EL-20)", en base a las ventajas e inconvenientes que presenta, es la correspondiente al puente viga de canto variable.

### 6. HIDROLOGÍA

El propósito del estudio hidrológico que constituye la primera parte del Anejo nº2: Estudio Hidrológico e Hidráulico, elaborado por la alumna Laura Martínez Pérez, consiste en la estimación de los caudales de crecida, para diversos períodos de retorno, de la cuenca vertiente del río Vinalopó, considerando como punto de desagüe el emplazamiento del puente objeto de este proyecto.

Para la consecución de este estudio se han empleado métodos hidrometeorológicos que se basan en la obtención de los caudales de avenida gracias a la caracterización de la cuenca vertiente y al análisis de las precipitaciones de la zona.

Para la caracterización de la cuenca vertiente, el primer paso es la delimitación de la misma con la ayuda de herramientas donde se puedan estudiar las curvas de nivel del terreno. Debido a que la cuenca hidrológica del río Vinalopó consta de una gran extensión, se decide dividirla en 4 subcuencas con características similares.



Figura 10. División de la cuenca vertiente en subcuencas

Tras esto, el objetivo principal es calcular el umbral de escorrentía,  $P_0$ , ya que es el parámetro del que depende la escorrentía superficial del agua que cae en la cuenca. Para ello, se identifican los usos del suelo utilizando la información proporcionada por el SIOSE, se determinan los tipos de suelo con la ayuda del mapa de capacidad de usos del suelo ofrecido por la Serie temática de la antigua COPUT y se calculan las pendientes de la cuenca.

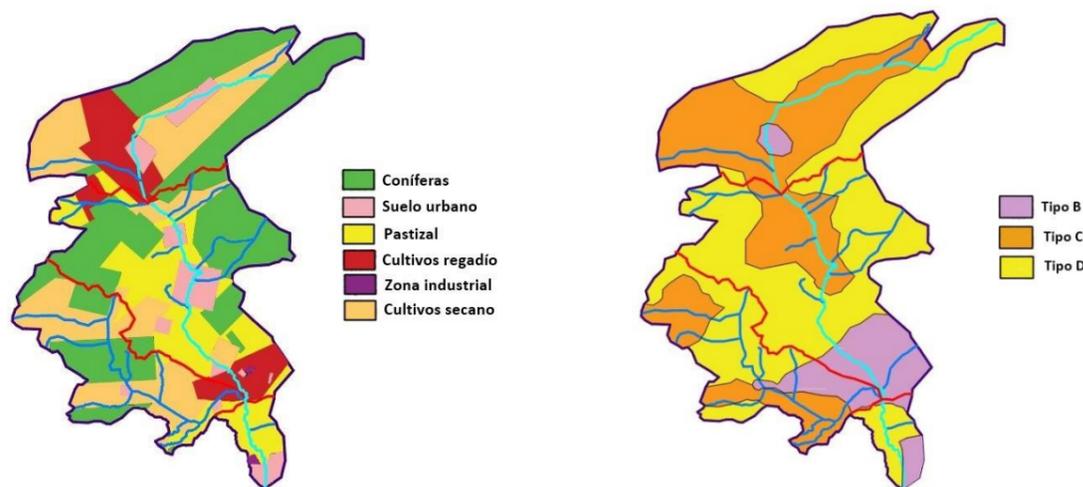


Figura 11. Tipos y usos del suelo de la cuenca vertiente

Con la superposición de los dos mapas anteriores y sabiendo que la pendiente en todos los puntos de la cuenca es inferior al 3%, se consigue el valor de  $P_0$  en cada una de las subcuencas.

Subcuenca	$P_0'$ (mm)
1	19,11
2	20,455
3	19,93
4	7,8

$P_0'$ medio de la cuenca
19,35 mm

Tabla 2. Valores del umbral de escorrentía

Además de todo esto, es necesario tener en cuenta algunos aspectos característicos de la cuenca del río Vinalopó, como es su naturaleza endorreica, lo que luego conlleva a realizar una serie de modificaciones, a la hora de introducir el modelo de simulación, en el umbral de escorrentía previamente calculado.

En cuanto al estudio de la pluviometría de la zona, se tratan los datos de forma estadística, empleando y comparando las distribuciones de máximos comúnmente aplicadas en el campo de la hidrología, siendo éstas:

Gumbel, General Extreme Value (GEV), Two Component Extreme Value (TCEV) y SQRT-ETmax. Todas ellas ajustadas por máxima verosimilitud. En las tres estaciones observadas, se concluye que la función TCEV es la más conveniente para obtener los cuantiles de precipitación máxima diaria anual para los períodos de retorno deseados, y proporciona los siguientes resultados:

ELCHE		NOVELDA		BANYERES DE MARIOLA	
T (años)	$P_d$ (mm)	T (años)	$P_d$ (mm)	T (años)	$P_d$ (mm)
25	95,9813	25	98,4712	25	139,144
50	122,783	50	114,769	50	191,294
100	154,559	100	132,427	100	256,379
200	188	200	152	200	323
500	231,595	500	178,288	500	410,892

Tabla 3. Valores de los cuantiles de precipitación máxima diaria anual en cada estación

Para acabar, se procede a realizar una simulación del proceso lluvia-escorrentía con la ayuda del software de libre distribución HEC-HMS. El modelo implementado es pseudodistribuido pues se considera que es el que más se adapta a la realidad de la cuenca debido a sus propiedades.

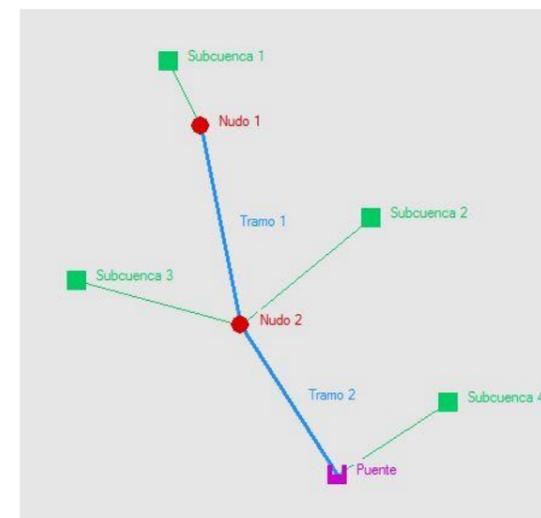


Figura 12. Modelo de simulación introducido en el programa HEC-HMS

Los modelos empleados para la representación hidrológica de la cuenca ha sido: el hidrograma unitario adimensional del SCS para la propagación en cuencas, el Método de Muskingum para la propagación en cauces y el modelo de producción de escorrentía del SCS. Las tormentas de diseño de hidrograma unitario generadas e introducidas en el software se consiguen mediante el método de los bloques alternos, con la asistencia del

método de Thiessen para determinar el peso adecuado de cada una de las estaciones pluviométricas estudiadas para cada subcuenca.

Los valores de los caudales pico en las inmediaciones del puente para cada período de retorno se exponen en la siguiente tabla:

Período de retorno (años)	25	50	100	500
Caudal (m <sup>3</sup> /s)	69,75	127,64	249,47	713,17

Tabla 4. Valores de los caudales pico para cada período de retorno estimados

### 7. GEOTECNIA Y GEOLOGÍA

Desde el punto de vista geológico, en las zonas colindantes al municipio de Elche predominan de forma clara formaciones del cuaternario, que son generalmente coluviones, aluviones, depósitos salobres y detritos.

Debido a la presencia del cauce del río Vinalopó, en la zona donde se ubica el puente proyectado existe una matriz arcillosa donde se establecen depósitos fluviales de arenas y gravas, cuyas densidades y granulometrías varían considerablemente entre unos y otros.

Por otro lado, cabe destacar que el nivel freático se halla bastante cerca de la superficie.

Mediante la información recopilada y que se comenta en el Anejo Nº3: Informe Geotécnico se consigue definir cada uno de los parámetros del terreno en las zonas donde es importante conocerlos pues serán donde se ubiquen las cimentaciones de las pilas y los estribos de la estructura. De esta forma, se obtienen los siguientes resultados:

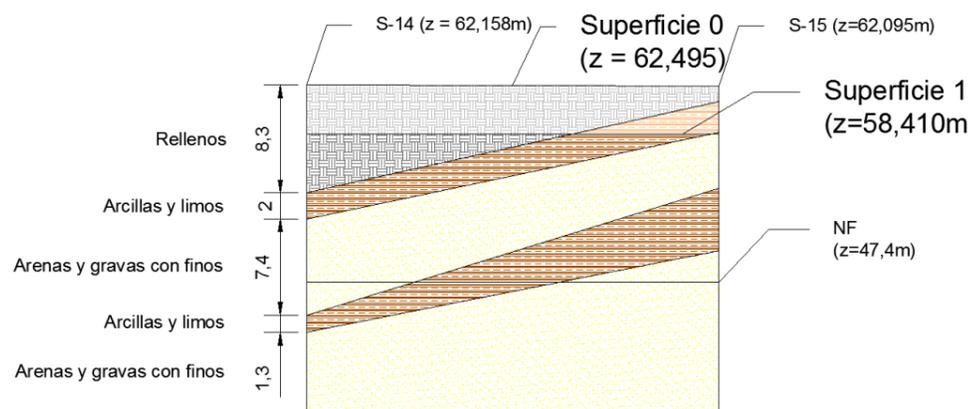


Figura 13. Estratigrafía bajo el estribo izquierdo

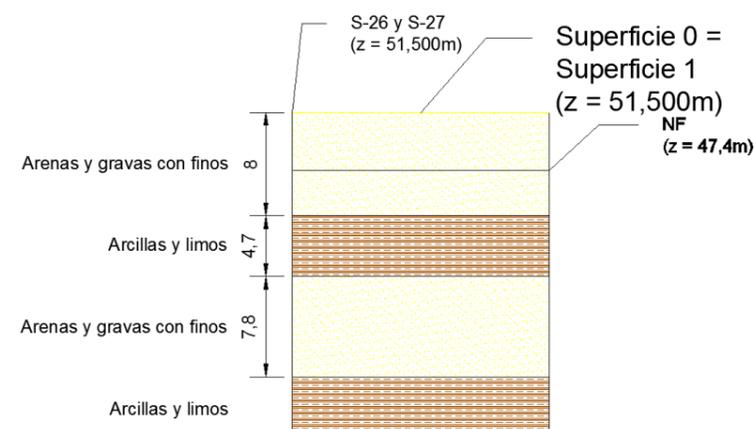


Figura 14. Estratigrafía bajo la pila izquierda

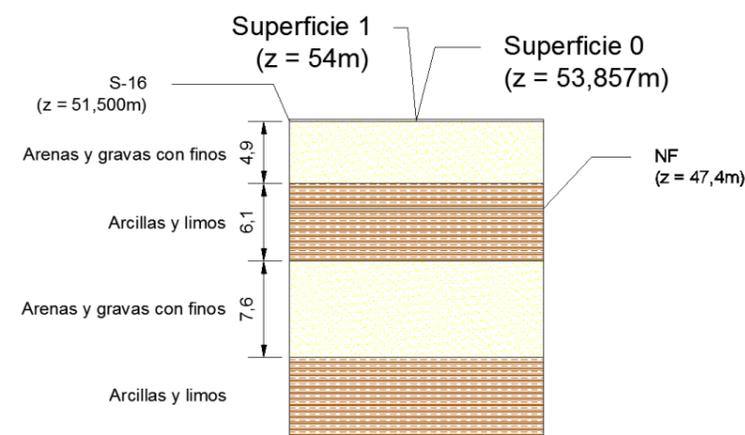


Figura 15. Estratigrafía bajo la pila derecha

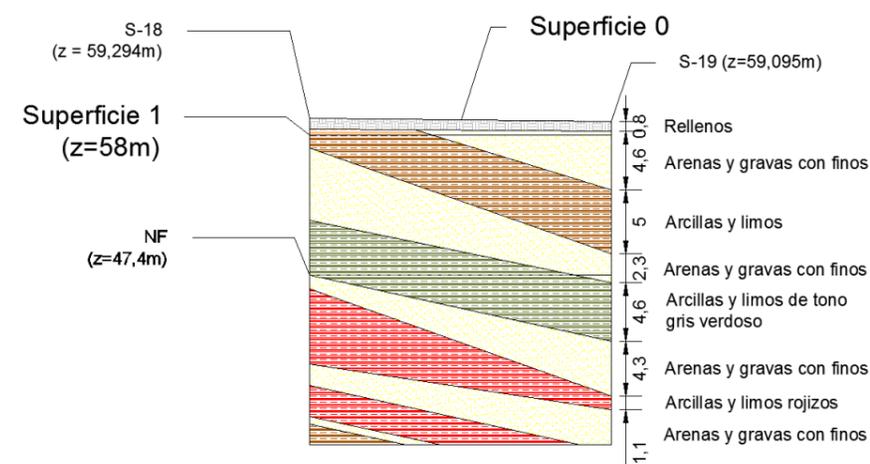


Figura 16. Estratigrafía bajo el estribo derecho

Gracias al libro de J. M. Rodríguez Ortíz, titulado Curso Aplicado de Cimentaciones, se ha obtenido el rango de valores dentro del cual han de encontrarse los parámetros característicos de cada tipo de terreno que nos encontramos. Estos valores se recogen en la siguiente tabla:

	$\gamma_{ap}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\Theta'$ (°)	$c'$ (kPa)	$c_u$ (kPa)
RELLENOS	17	-	27,5	0	10
ARCILLAS Y LIMOS	18	21	35	50	20
ARENAS Y GRAVAS CON FINOS	21	22,5	28	0	-
ARENAS Y LIMOS ROJIZOS	18	21	35	50	20

Tabla 5. Parámetros geotécnicos de los distintos estratos que forman el terreno

Tras este análisis, se comprueba qué tipo de cimentación es la que mejor se adapta a las condiciones del terreno y soporta los esfuerzos transmitidos por las subestructuras con unas dimensiones aceptables dentro de los límites normales. Al final se concluye que una cimentación profunda a base de grupos de pilotes es capaz de resolver la problemática de la cimentación, tanto en estribos como en pilas, pues una cimentación de tipo superficial tendría unas dimensiones excesivamente grandes que aumentarían considerablemente el coste de la obra y además, se comportaría de forma menos eficiente en comparación con la cimentación seleccionada.

## 8. DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN ADOPTADA

El puente desarrollado en el presente proyecto básico se enmarca en el conjunto de obras de la construcción de la Circunvalación Sur de Elche (EL-20) en la provincia de Alicante (España).

El puente en cuestión es un puente viga en cajón multicelular de canto variable de hormigón pretensado, con una luz total de 120 metros divididos en tres vanos, uno principal de 60 m y dos laterales de 30 m cada uno siempre hablando de distancia entre apoyos. No obstante, la longitud total del puente es de 122 metros. Esto se debe a que la altura del estribo izquierdo es 30 cm, mayor que la del derecho, debido a una pendiente longitudinal del tablero de 0,25%. Y por tanto, en ambos estribos la sección maciza se extiende 1 m respecto a los ejes de los apoyos hacia el exterior, quedando unas secciones macizas de 2 metros.



Figura 17. Alzado de la solución adoptada

### 8.1. Trazado

El trazado de la solución viene impuesto por los condicionantes establecidos por la Administración y que se han comentado en el apartado 3 de este documento. Por ello, el trazado en planta de la solución adoptada es recto, y se encarga de unir la Rotonda de Dolores, con P.K. 6+400, y la Rotonda de Casas de León, elemento final del trazado de la circunvalación proyectada y con P.K. 6+600, salvando el cauce del río Vinalopó. En cuanto al trazado en alzado, se respeta la pendiente longitudinal de la traza de la circunvalación, siendo ésta del 0,25% desde el estribo izquierdo hasta el estribo derecho.

### 8.2. Tablero

La sección transversal del tablero consiste en un cajón multicelular con 4 células, cuyo ancho total es de 29,4 metros y un canto que varía parabólicamente de 4,058, sobre los 2 metros de sección maciza en los apoyos de las pilas y 2,558 en las secciones de centro-luz y sobre estribos, desarrollando así una superficie reglada a lo largo de la totalidad del puente.

En cuanto a las almas que conforman las células exteriores tienen una inclinación de 47,1211°, mientras que las tres almas interiores son verticales. El canto de estas es de 0,597 metros en las exteriores y 0,4 metros para las interiores. La unión entre las almas interiores y la losa se realiza directa, mientras que en la unión de las almas exteriores a la losa superior e inferior, se lleva a cabo una transición en el cambio de geometría mediante unos acuerdos triangulares suavizando así los quiebros, tal como se puede observar en la siguiente figura:

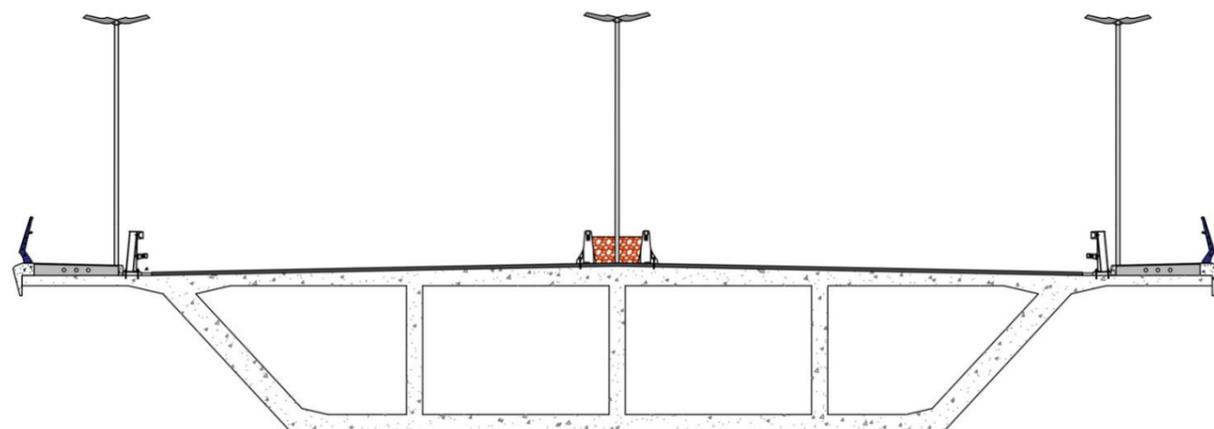


Figura 18. Sección transversal de la solución adoptada

Por lo que se refiere a las alas del tablero, la superior tiene un voladizo de 2,665 metros en cada lateral, medido desde el acuerdo triangular. El espesor de ésta losa es de 30 centímetros con un recrecido de la sección que se extiende desde el eje de la sección hasta 11,65 metros a cada lado de altura en el centro 23,3 centímetros, para dotar a la calzada de una pendiente del 2%. Por otro lado, el ala inferior tiene un espesor de 40 centímetros.

El hormigón empleado para el tablero es del tipo HP-40/B/20/IIb.

### 8.3. Subestructuras

Las pilas de los apoyos intermedios consisten en dos pantallas macizas de hormigón armado cuya anchura es igual al ancho de la base del tablero en ese punto, es decir, 16,174 metros. El espesor de cada una de ellas es de 2 metros y las alturas varían, ya que esto depende del desnivel que existe en el terreno, teniendo la pila izquierda una altura de 7,46 metros desde la rasante del terreno modificado, mientras que la derecha es de 4,81 metros.

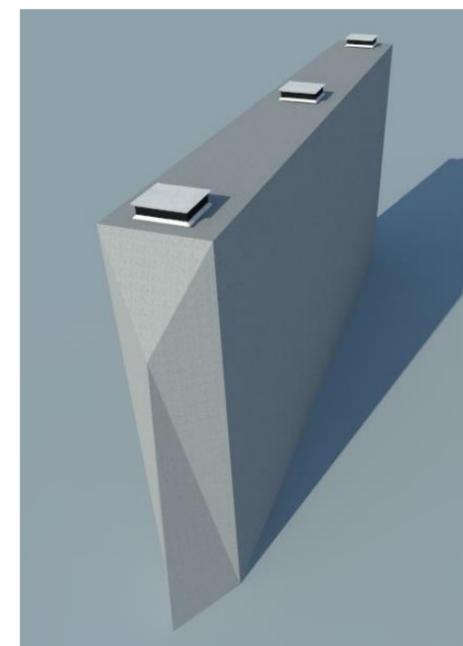


Figura 19. Aspecto de los apoyos intermedios

En cuanto a los estribos se ejecutan unos estribos cerrados con aletas laterales para evitar el derramamiento parcial de tierras, y que acogen la totalidad de la sección del tablero, recibiendo y dotando de un gran dinamismo al conjunto, acentuado por la presencia de unos berenjenos en las paredes verticales del muro frontal y aletas.

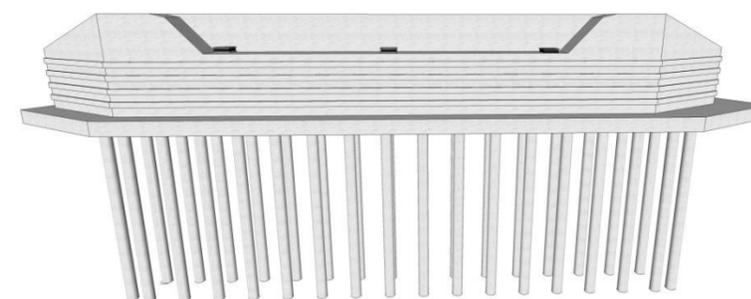


Figura 20. Aspecto de los estribos con su correspondiente cimentación

El hormigón empleado en la ejecución de pilas y estribos es del tipo HA-30/B/20/IIb.

#### 8.4. Protección del puente

Para la determinación de las protecciones del puente frente a la acción erosiva del agua del río Vinalopó se ha realizado un estudio hidráulico.

Gracias a la información recopilada del tramo que se considera oportuno estudiar, se estiman los parámetros hidráulicos y las características topográficas necesarios para introducir un modelo de simulación lo más realista posible al programa HEC-RAS. Con esto, se analiza la situación actual del río Vinalopó en el municipio de Elche, siendo esto el punto de partida para comparar resultados después de introducir en la simulación el puente que se desea construir.

Los resultados obtenidos muestran que la incorporación del puente no supone ningún cambio en la capacidad hidráulica del cauce del río para un período de retorno de 100 años, por lo que no se produce desbordamiento alguno a lo largo de su recorrido. Por otro lado, estudiando la avenida con período de retorno de 500 años, se valoran las consecuencias desfavorables que causa el río sobre el puente y se diseñan las medidas de protección oportunas para minimizarlas y evitar el fallo de la estructura por problemas ocasionados en sus cimentaciones.

Las medidas protectoras que se proponen para proteger tanto las pilas de la estructura contra la socavación, como el lecho y los márgenes del cauce, en las inmediaciones del puente, contra la erosión general a la que está sometido son:

- Regularización de los cauces

Consiste en modificar las secciones transversales del cauce para conseguir de esta forma superficies más estables que permitan una correcta y fácil cimentación de la estructura, considerando también la zona de transición entre el terreno modificado y el natural.

- Protección general del lecho y los márgenes del cauce

Esta protección pretende resguardar el lecho y los márgenes del cauce de la acción erosiva del agua. Para ello se coloca una capa de escollera con un  $D_{50}$  de 0,31 m y una granulometría no uniforme, que favorece su trabazón y permite soportar las tensiones tangenciales provocadas por la corriente del agua. La capa de escollera se acomodará sobre un material granular filtrante, con un tamaño medio de partícula de 0,008 m. Esta actuación comprenderá la localización del puente y un total de 10 metros más, tanto aguas arriba como aguas abajo del mismo.

- Protección local de las pilas del puente

Para evitar la socavación localizada sobre las pilas se dispone alrededor de las mismas un manto de escollera con un  $D_{50}$  de 0,55 m, un espesor de 1,1 m y una cobertura lateral en todas las caras de las pilas de 2 m, todo sobre un geotextil que actúe de capa de separación entre el terreno natural y la escollera, capaz de resistir los esfuerzos a los que está sujeto.

En resumen, con las actuaciones de protección propuestas y diseñadas en el presente estudio, queda resuelto el problema de la posible inestabilidad que pudiera causar la socavación en el puente proyectado sobre el río Vinalopó en la Circunvalación Sur de Elche, logrando una solución técnica, económica y ambientalmente viable.

#### 8.5. Equipamientos

Todo lo referido en los siguientes epígrafes puede consultarse en el “*Anejo nº5: Diseño de Equipamientos*”, en el que se expone con detalle cada uno de los elementos que forman parte de la superestructura del puente diseñado.

##### Evacuación de aguas

El sistema de desagüe consiste en dos líneas de recogida, situadas entre la calzada y el carril bici, justo en la cara interior del pretil encargado de separar ambas zonas, y que recogen el agua correspondiente a la mitad del tablero, en sentido transversal. Cada línea de vertido consta de 52 imbornales, distantes entre sí 2,35 metros y situados sobre un caz ciego continuo de hormigón. Las pendientes asociadas a la estructura son del 0,25% en sentido longitudinal, de este a oeste, y del 2% en sentido transversal desde el eje central del tablero, tanto en la calzada como en el carril bici.

La geometría de la rejilla escogida para un correcto drenaje de la plataforma es la que se muestra en la Figura 21, para la cual se han realizado las correspondientes comprobaciones. El vertido se produce directamente sobre el cauce del río Vinalopó a través de un tubo recto vertical de PVC conectado a las arquetas fabricadas in situ que completan cada imbornal.

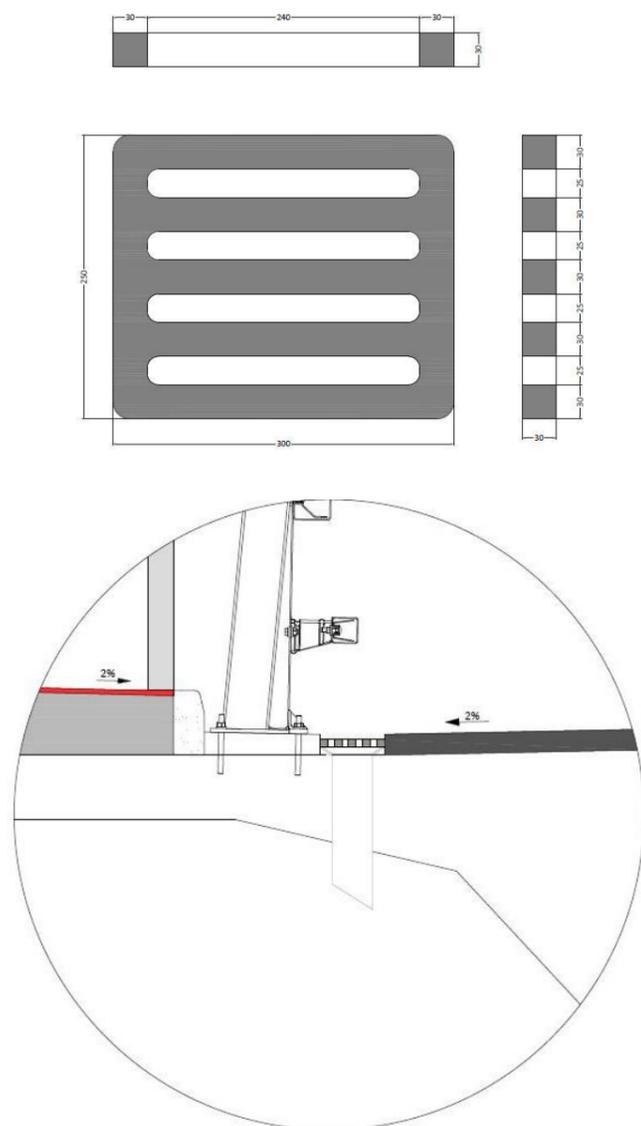


Figura 21. Detalles de la evacuación de aguas diseñada

#### **Capa de estanqueidad**

La capa de estanqueidad escogida pertenece al grupo COMPOSAN o similar, y consiste en un mortero bituminoso formado por una mezcla de emulsión EAL-1 (betún 70/100), con fibras especiales y áridos silíceos y calizos, empleada principalmente para la impermeabilización de tableros de puentes. Se extenderá en todo el ancho del tablero.

#### **Acera**

Se ejecutará una acera de canto variable, entre 0,25 y 0,29 metros, de forma que se configure la pendiente del 2% hacia la línea de imbornales, y de 2 metros de ancho. Será de hormigón en masa de 20 MPa y una dotación de 600 g/m<sup>2</sup> de fibra de polipropileno multifilamento. En el interior de la misma se colocarán tres tubos de PE corrugados de 90 mm de diámetro exterior que permitan el paso de los servicios de alumbrado. La parte interior quedará rematada con un bordillo de tipo C6 y clase resistente R6, de la casa de Prefabricados de Hormigón “Gadea Hermanos” o similar.

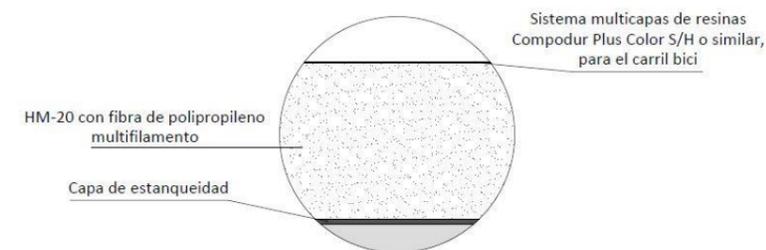


Figura 22. Croquis de las capas que conforman el pavimento del carril bici

#### **Pavimento de la calzada**

Sobre la capa de estanqueidad se dispondrá una mezcla bituminosa del tipo AC 22 bin D de 5 cm de espesor, con un ligante hidrocarbonado del tipo B35/50. La capa de rodadura del pavimento de la calzada será del tipo BBTM 11B, con un espesor de 3 cm y con la presencia de un betún modificado del tipo PMB 45/80-65. Para la correcta interacción entre estas dos capas se colocará un riego de adherencia.

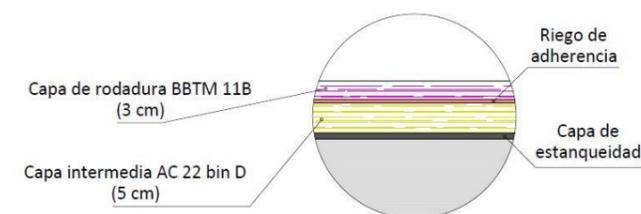


Figura 23. Croquis de las capas que conforman el pavimento de la calzada



### **Defensa en la mediana de la calzada**

Para la mediana se ha elegido un sistema de contención de hormigón, formado por barreras de 6 m de longitud unidas entre sí mediante acoplamientos de acero especial de alta resistencia y una barra de tensión de acero. Esta forma de enlazarse las piezas permite que actúen como un “collar de perlas”, aumentando la seguridad para los ocupantes de los coches, protegiendo a los vehículos gracias a su flexibilidad y produciendo un desplazamiento mínimo de los elementos de seguridad. Las barreras de hormigón irán ancladas al tablero mediante pernos de métrica M20.



*Figura 27. Geometría de la defensa en la zona de la mediana*

### **Iluminación**

El software empleado para realizar el análisis lumínico ha sido DIALux. Este programa verifica el cumplimiento de los requisitos fotométricos exigidos según la situación de proyecto y las distintas clases de iluminación de la vía en cuestión, permitiendo elegir el tipo de luminaria que mejor encaje con la estética del puente de entre un elevado número de catálogos, así como la posición de las mismas.

Debido a las dimensiones de la calzada del puente, formada por dos carriles y amplios arcenes, tanto exterior como interior, se ha optado por un diseño lumínico que consta de luminarias en el interior de ambos carriles bici y además, también en la zona de la mediana. Todas las luminarias elegidas son del tipo VIATANA-AB7R-LRA/9100-740 2G1S ET, de la casa TRILUX, o similar, y se colocan dobles sobre mástiles de 6 metros de altura.



*Figura 28. Aspecto de las luminarias seleccionadas*

De esta forma, la calzada queda iluminada correctamente, procurando el no deslumbramiento de los vehículos. Por otro lado, los resultados obtenidos con el software exponen que la zona habilitada para ciclistas no disfruta de una correcta distribución de la iluminación, sin embargo se decide que esto no supone un error en el diseño, pues el nivel de alumbrado sí es apto y los valores prefijados que han de cumplirse se basan en una serie de recomendaciones, no en normas.

### **Mediana**

La mediana, con una anchura total de 2 metros, queda delimitada por las barreras de hormigón que forman el sistema de contención de vehículos, quedando un espacio interior de 1,04 m entre ellas. Este espacio queda relleno por gravas de tamaño 20/40, exenta de finos, para permitir un correcto drenaje a través de los orificios inferiores de los pretiles y se colocarán cada 2 metros ejemplares de “Aloe Vera”, pues son plantas que se adaptan bien al clima de la zona y que requieren un mantenimiento escaso.

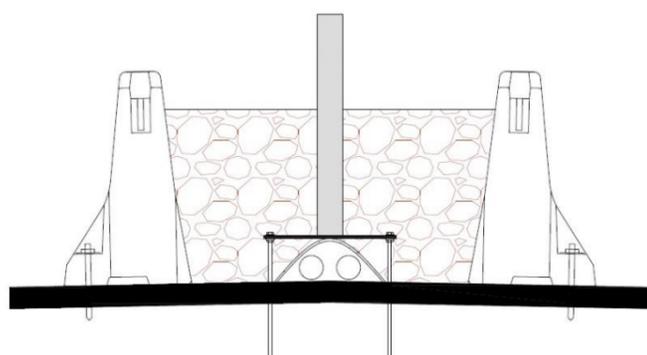


Figura 29. Detalle de los elementos de la mediana

Para las luminarias que se encuentran en esta zona, se disponen dos tubos de PE corrugado de 90 mm de diámetro protegidos por una bóveda de hormigón de 40 cm de ancho y 15 cm de alto. Sobre este elemento, y cada 20 m, se colocan las placas de sujeción de los mástiles de alumbrado, que irán ancladas al tablero mediante 4 pernos con tuercas niveladoras en su parte inferior y de compresión en la parte superior. Los pernos se tratarán contra la corrosión para mejorar su durabilidad.

## 9. PROCESO CONSTRUCTIVO

El procedimiento de construcción del puente sobre el río Vinalopó en la Circunvalación Sur de Elche (EL-20), consiste en 10 fases de ejecución.

En primer lugar, se realiza la preparación del emplazamiento de la obra y operaciones previas con el fin de acondicionar la zona para disponer de acceso a esta e instalaciones.

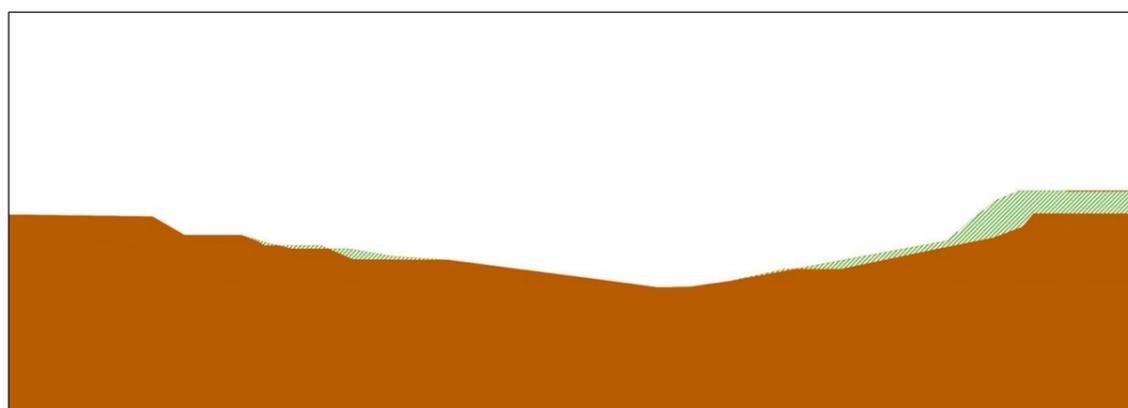


Figura 30. Movimientos de tierra a realizar.

A continuación, son modificados los taludes de las márgenes del cauce y es ejecutada una plataforma transversal al cauce fluvial que sirva de paso para maquinaria y vehículos, tras haberse realizado las pilas.

El siguiente paso en la construcción del puente es la ejecución de las cimentaciones de las estructuras mediante la perforación, ferrallado y hormigonado de los pilotes. En este mismo paso, una vez ejecutados los pilotes se excava las dimensiones de los encepados y estos se ejecutan mediante el encofrado, armado, hormigonado y vibrado, quedando finalizada la cimentación.

Tras la ejecución de las cimentaciones se procede a construir las pilas, mediante encofrados de madera para realizar la variación geométrica de la pila. Tras el encofrado se dispone del armado y se hormigona la sección. Tras la construcción de las pilas se procede a la ejecución de los estribos, mediante la ejecución, en primer lugar del muro frontal y en segundo lugar, las aletas.

A continuación se colocan los aparatos de apoyo en su posición definitiva.

Tras esto se procederá al montaje de la cimbra convencional cuajada sobre la que se dispone el encofrado, una vez haya sido finalizada la plataforma situada en el cauce sobre la que la cimbra apoyará.

La ejecución del tablero se realiza por fases, ejecutando en primer lugar el ala inferior, diafragmas y almas, y en segundo lugar el ala superior. Dado que el tablero debe pretensarse, durante el ferrallado se disponen las vainas, adicionalmente al armado pasivo, de forma que posteriormente se puedan enfilar los cables en ellas y tesarlas tras alcanzarse la resistencia requerida.

Una vez ejecutado el tablero se dispone la junta de dilatación.

Finalizada la estructura y dispuesta la junta de dilatación, se procede a la pavimentación, ejecución de aceras, colocación de impostas, defensas y barandillas.

Por último se instala la iluminación, drenaje, se procede a la reposición de servicios y ejecución de marcas viales.

## 10. PLAZO DE EJECUCIÓN

El plazo de ejecución de las obras queda perfectamente definido en el Anejo Nº7: Programa de Trabajos, en el cual se hace uso del diagrama de Gantt para describir la secuencia de las distintas tareas previstas y la organización de las mismas, de forma que la obra se realice de coordinadamente.

Para la estimación del plazo total de ejecución de las obras y dado que la fecha de inicio de las obras se desconoce, se han considerado meses de 4 semanas con 5 días laborables por semana de los cuales se

descuentan 9 días anuales por días festivos. Además, se ha considerado un coeficiente reductor de días laborables anuales aproximado del 5% para tener en cuenta la posibilidad de condiciones meteorológicas adversas que imposibilitarían el trabajo y la posibilidad de la presencia de alguna avenida del río Vinalopó.

Según lo explicado, se estima un plazo de ejecución de las obras de 448 días, lo que corresponde a aproximadamente catorce meses.



Fdo. Laura Martínez Pérez

## 11. VALORACIÓN ECONÓMICA

El presupuesto total asciende a CINCO MILLONES CON QUINIENTOS OCHENTA Y NUEVE MIL OCHOCIENTOS SETENTA Y NUEVE EUROS CON NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS, como queda reflejado en el *Documento Nº3: Valoración Económica* de este presente trabajo.

## 12. CONCLUSIÓN

Con todo lo expuesto en la presente memoria, así como en los anejos y demás documentos que integran este proyecto básico, se verifica que la solución desarrollada presenta un nivel estructural eficiente y una estética acorde con el entorno, todo ello dentro de un rango económico viable.

Valencia, Septiembre de 2.016



Fdo. Rubén Fernández Morocho



Fdo. Javier García Latorre